

iAP20 Rec'd PCT/PTO 01 SEP 2006

明 細 書

気体バネ装置、防振装置、ステージ装置及び露光装置

技術分野

[0001] 本発明は、気体の圧力で物体を支持する気体バネ装置及び防振装置、この防振装置を備えたステージ装置並びに露光装置に関するものである。

本願は、2004年3月1日に出願された特願2004-56195号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来より、半導体デバイスの製造工程の1つであるリソグラフィ工程においては、マスク又はレチクル(以下、レチクルと称する)に形成された回路パターンをレジスト(感光剤)が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する種々の露光装置が用いられている。

例えば、半導体デバイス用の露光装置としては、近年における集積回路の高集積化に伴うパターンの最小線幅(デバイスルール)の微細化に応じて、レチクルのパターンを投影光学系を用いてウエハ上に縮小転写する縮小投影露光装置が主として用いられている。

[0003] この縮小投影露光装置としては、レチクルのパターンをウエハ上の複数のショット領域(露光領域)に順次転写するステップ・アンド・リピート方式の静止露光型の縮小投影露光装置(いわゆるステッパ)や、このステッパを改良したもので、特許文献1等の開示されるようなレチクルとウエハとを一次元方向に同期移動してレチクルパターンをウエハ上の各ショット領域に転写するステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の露光装置(いわゆるスキャニング・ステッパ)が知られている。

[0004] これらの縮小投影露光装置においては、ステージ装置として、床面に先ず装置の基準になるベースプレートが設置され、その上に床振動を遮断するための防振台を介してレチクルステージ、ウエハステージおよび投影光学系(投影レンズ)等を支持する本体コラムが載置されたものが多く用いられている。最近のステージ装置では、前記防振台として、内圧が制御可能なエアマウント(気体バネ装置)やボイスコイルモ

ータ等のアクチュエータ(推力付与装置)を備え、本体コラム(メインフレーム)に取り付けられた、例えば6個の加速度計の計測値に基づいて前記ボイスコイルモータ等の推力を制御することにより本体コラムの振動を制御するアクティブ防振台が採用されている。

特許文献1:特開平8-166043号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] 気体バネの性能は振動伝達率で決まり、振動抑制に関しては、気体バネの剛性、すなわち気体バネのバネ定数が小さい(低い)ほど有利である。このバネ定数は、気体バネの容積とは反比例の関係にあるため、低剛性の気体バネを得るには大きな容積が必要となる。

そこで、エアマウントの内部空間の容積を大きくしたり、エアマウントにエアタンクを付設することが考えられるが、いずれの場合も装置の大型化に直結することになるため、装置のフットプリント(設置面積)の制限から大きな容積を確保することは困難である。

- [0006] 一方、気体バネのバネ定数を低下させる別の手法として、気体バネのストローク変位に応じて有効受圧面積を変化させる方法がある。これを応用することで、ダイヤフラム等の形状を工夫することで気体バネに負の剛性を付与することが可能になり、結果としてバネ定数を下げることができる。

しかし、バネ定数は動バネ定数と静バネ定数とに分けられるが、静バネ定数が0以下となるとバネとして不安定になるという問題が生じてしまう。

- [0007] また、動バネ定数及び静バネ定数のそれぞれは、主に上述した気体自体によるバネ定数成分と、有効受圧面積の変化率によるバネ定数成分との和で表され、気体自体によるバネ定数成分はポリトロピック指数に比例する。空気バネにおける動バネ定数のポリトロピック指数は1.4であり、静バネ定数のポリトロピック指数は1.0であるため、有効受圧面積の変化率によるバネ定数成分を調整して静バネ定数を0としても動バネ定数を0とすることができず、動バネ定数の低下には限界があった。

- [0008] 本発明は、以上のような点を考慮してなされたもので、装置を大型化させることなく

高性能な気体バネ装置、防振装置及び優れた防振性能を備えたステージ装置並びに露光装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記の目的を達成するために本発明は、以下の構成を採用している。

本発明の気体バネ装置は、所定圧力の気体が充填される気体室を有する気体バネ装置であって、気体室に設けられ、気体室の容積変化に伴う温度変化を調整する調整装置を備えることを特徴とするものである。

[0010] 従って、本発明の気体バネ装置では、バネの変位によって生じた内容積変化で気体の温度変化が生じる前に調整装置により気体室の温度変化を抑えることができる。この温度変化が従来に比べて無視できる程度に小さい場合には、動バネ定数におけるポルトロピック指数を、例えば空気の場合で1.4からおよそ1.0に小さくすることができる。そのため、本発明では、バネ定数(固有振動数)が小さくなり、振動伝達率が飛躍的に向上して気体バネとしての性能を向上させることが可能になる。

[0011] また、本発明の防振装置は、所定圧力の気体により防振対象物を支持する支持装置と、防振対象物を駆動する駆動装置とを備えた防振装置であって、支持装置として請求項1から7のいずれか一項に記載の気体バネ装置が用いられることを特徴とするものである。

従って、本発明の防振装置では、支持装置の振動伝達率が小さくなるため、支持装置を介して防振対象物に振動が伝わることを抑制でき、効果的な制振を可能とすることができる。

[0012] そして、本発明のステージ装置は、定盤上を可動体が移動するステージ装置であって、定盤が請求項8記載の防振装置により支持されることを特徴とするものである。

従って、本発明のステージ装置では、可動体の移動に応じて支持装置及び駆動装置を駆動することにより、振動を伝わらせることなく定盤に偏荷重が加わることを防止できるとともに、可動体の移動に伴って生じた振動を効果的に制振することが可能になる。

[0013] また、本発明の露光装置は、マスクステージに保持されたマスクのパターンを基板ステージに保持された感光基板に投影光学系を介して露光する露光装置において、

マスクステージと、投影光学系と、基板ステージとの少なくとも一つが、上記の防振装置により支持されることを特徴とするものである。

[0014] また、本発明の防振方法は、所定圧力の気体を気体室に充填し、気体室の容積変化に伴う温度変化を調整することを特徴とするものである。

[0015] 従って、本発明の露光装置では、マスクステージや基板ステージの移動に応じて支持装置及び駆動装置を駆動することにより、振動を伝わらせることなく各ステージを支持する定盤や投影光学系を支持する定盤に偏荷重が加わることを防止できるとともに、マスクステージや基板ステージの移動に伴って生じた振動を効果的に制振することが可能になる。

発明の効果

[0016] 本発明では、装置構成を大型化することなくバネ定数を低下させて高性能な気体バネを得ることができる。また、本発明では、防振対象物に生じる振動を効果的に制振することが可能となり、また露光装置に適用した場合にはパターン転写精度を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の第1実施形態を示す図であって、エア室にスチールウールが充填された気体バネ装置の概略構成図である。

[図2]本発明の第2実施形態を示す図であって、エア室にガスが充填された気体バネ装置の概略構成図である。

[図3]本発明の第4実施形態を示す図であって、エア室にファンが設けられた気体バネ装置の概略構成図である。

[図4]本発明の第5実施形態を示す図であって、エア室にスチールウールが充填された気体バネ装置の概略構成図である。

[図5]気体バネ装置の要部を示す図である。

[図6]本発明のステージ装置を備えた露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

[図7]同ステージ装置の概略的な斜視図である。

[図8]防振ユニットに支持され、コーナーキューブが設置された定盤の部分拡大図で

ある。

[図9]マスクステージを有するステージ装置の一実施形態を示す概略斜視図である。

[図10]半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。

符号の説明

- [0018] AR エア室(気体室) EX 露光装置 F ファン(攪拌装置) G 気体(調整装置、ガス) KB1~KB4 気体バネ装置 M マスク(レチクル) MST マスクステージ(レチクルステージ) P 感光基板 PL 投影光学系 PST 基板ステージ(可動体) SW スチールウール(繊維状スチール、調整装置) 2 ステージ装置 4 基板定盤(防振対象物、定盤) 13 防振ユニット(防振装置) 72 エアマウント(支持装置) 73 ボイスコイルモータ(駆動装置)

発明を実施するための最良の形態

- [0019] 以下、本発明の気体バネ装置、防振装置、ステージ装置及び露光装置の実施の形態を、図1乃至図10を参照して説明する。

(第1実施形態)

まず気体バネ装置について説明する。

図1は、本発明に係る気体バネ装置の一実施形態を示す概略の構成図である。

この図に示す気体バネ装置KB1は、所定圧力のエア(気体)が充填され、このエア(の圧力)によりバネ上質量MSを図中上下方向(以下、Z方向と称する)に支持するものであって、エア室(気体室)AR、質量MSに当接する円柱状のピストンPT、エア室ARを覆い、且つピストンPTをZ方向に移動自在に支持するダイヤフラムDP、エア室AR内のエア供給量を制御してエア圧を調整するエア圧調整装置ACから構成されている。

そして、エア室ARの内部には当該エア室ARの容積変化に伴う温度変化を調整するための調整装置としてスチールウール(繊維状スチール)SWが充填されている。

- [0020] ここで、気体バネKB1に作用する力Wは、有効受圧面積をA、内圧(ゲージ圧)をPとすると次式で表される。

$$W = P \times A \quad \dots (1)$$

そして、スチールウールSWが充填されていないときの気体バネKB1の動バネ定数

Kdは、大気圧をPa、気体バネKB1の圧縮たわみをX、エア室ARの内容積をV、ポリトロピック指数を γ とすると、一般に次式で表される(なお、実際には、ダイヤフラムD Pの剛性も付加されるが、以下の説明では省略する)。

$$\begin{aligned} Kd &= dW/dX \\ &= A \times (dP/dX) \\ &= \gamma \times (P + Pa) \times A^2/V \quad \dots (2) \end{aligned}$$

式(2)においては、動バネにおけるポリトロピック指数 γ は1.4となる。

[0021] 一方、本実施の形態では、エア室ARの内部に表面積が大きく、エアよりも比熱(または熱伝達率)が大きいスチールウールSWを充填しているため、質量MSの変位によって生じた内容積変化に伴う温度変化は、スチールウールSWと直ちに熱の授受が行われることにより抑えられる。例えばエア室AR内のエアが圧縮されて生じた熱はスチールウールSWが吸収し、逆にエアの膨張時にはスチールウールSWから熱が放出されることでエアの温度変化が抑えられる(調整される)。

[0022] 通常、気体バネ装置において動バネと静バネとの間でポリトロピック指数が異なるのは、気体バネ装置の固有振動数領域ではエア室ARの内容積変化がほぼ断熱変化と見なされるためであるが、本実施形態では、固有振動数領域でも高速にエアとスチールウールSWとの間で熱伝達が行われるため、エア室AR内のエアの温度変化を抑えて略等温変化とすることができ、温度変化(熱)に起因する圧力変化を抑えることができる。そのため、スチールウールSWが充填されない場合と比較して温度変化が無視できる程度に小さい場合には、上記動バネ定数Kdにおけるポリトロピック指数 γ がほぼ1.0となる。

ここで、スチールウールSWが充填されない場合の動バネ定数Kd0は下式(3)で表され、スチールウールSWが充填された場合の動バネ定数Kd1は下式(4)で表される。

$$Kd0 = 1.4 \times (P + Pa) \times A^2/V \quad \dots (3)$$

$$Kd1 = 1.0 \times (P + Pa) \times A^2/(V - Vs) \quad \dots (4)$$

Vs; スチールウールSWの体積

式(4)においてスチールウールSWの体積Vsがエア室ARの容積に対して無視で

きる程度に小さい場合は $V-V_s \approx V$ となり、式(3)、(4)から下式が導かれる。

$$Kd1 = (1/1.4) \times Kd0 \quad \dots (5)$$

式(5)から明らかなように、エア室SR内にスチールウールSWを充填することで、動バネ定数を小さくすることができる。

このように、本実施の形態では、エア室SR内にスチールウールSWを充填するという簡単な構造でエア室ARの容積 V を大きくすることなく、バネ定数を低下させて高性能な気体バネKB1を得ることが可能になる。

[0023] なお、上記実施の形態では、空気よりも比熱(または熱伝達率)が大きいものとして繊維状のスチールウールSWをエア室ARの内部に充填する構成としたが、これに限定されるものではなく、例えば板状、線状(網状)、粒状(粉状)、多孔質、泡状等、比表面積の大きい形状またはこれらの複合状態の物質(固体、液体)を用いることで上記実施形態と同等の作用・効果を得ることができる。充填する素材の具体例としては、例えば焼結金属、スポンジ(連続気孔体)等が挙げられる。

[0024] (第2実施形態)

続いて気体バネ装置の別形態について図2を参照して説明する。

この図において、図1に示した第1実施形態の構成要素と同一の要素については同一符号を付し、その説明を省略する。

図2に示す気体バネ装置KB2においては、エア室ARの内部にエアの代わりに比熱比の小さな気体Gがエア室ARの容積変化に伴う温度変化を調整するための調整装置として充填されている。充填する気体Gとしては、ジエチルエーテル、アセチレン、臭素、二酸化炭素、メタン等、空気よりも比熱比が小さな気体を用いられる。

[0025] 上述した動バネにおけるポルトロピック指数 $\gamma = 1.4$ は空気の場合であるが、これら比熱比の小さい気体を用いた場合、ジエチルエーテル($\gamma = 1.02$)、アセチレン($\gamma = 1.26$)、臭素($\gamma = 1.29$)、二酸化炭素($\gamma = 1.3$)、メタン($\gamma = 1.31$)となり、エア($\gamma = 1.4$)を用いる場合に比べてポルトロピック指数が小さくなり、結果として、第1実施形態と同様にバネ定数を低下させて高性能な気体バネを得ることが可能になる。

なお、エア室ARに充填する気体Gに対しては、比熱比以外にも、常温加圧状態で

液化しない、毒性がない、難可燃性等の特性を考慮すべきであり、これらの特性を考慮すると二酸化炭素が最も実用的な気体として挙げられる。

[0026] (第3実施形態)

続いて気体バネ装置の別形態について説明する。

上記実施形態では、エア室ARの内部に気体を充填(充満)する構成としたが、本実施の形態では飽和蒸気と液体との気液混相状態のガスを充填する。

気液混相状態では、エア室ARの内圧は理想的に温度のみによって決定され、内容積の変化は圧力の変化を発生させない。

従って、気液混相状態のガスを有する気体バネ装置では動バネ、静バネの双方でポリトロピック指数 $\gamma = 0$ となり、バネ定数を低下させて高性能な気体バネを得ることが可能になる。気液混相状態で使用する物質としては、ブタンやプロパン等を採用できる。

[0027] (第4実施形態)

続いて気体バネ装置の別形態について図3を参照して説明する。

この図において、図2に示した第2実施形態の構成要素と同一の要素については同一符号を付し、その説明を省略する。

図3に示す気体バネ装置KB3には、エア室ARの気体Gを攪拌するためのファン(攪拌装置)Fが設けられている。

上記の構成では、ファンFの駆動でエア室ARの気体Gが攪拌されることで、エア室内壁と気体Gとの熱伝達率が上がり、エア室の容積が変化した際の気体Gの温度変化を抑制することができる。そのため、本実施の形態では、気体バネKB3における動バネのポリトロピック指数及びバネ定数を低下させて高性能な気体バネKB3を得ることが可能になる。

[0028] なお、攪拌装置としてのファンFは、上記第2実施形態のみならず、スチールウールSWをエア室に充填した図1に示した第1実施形態及び気液混相状態のガスをエア室に充填した第3実施形態にも適用可能である。また、エア室内壁と気体Gとの熱伝達率を上げるためには、気体Gを攪拌する方法の他に、エア室内壁に凹凸を形成する等によりエア室内壁の表面積を大きくすることも、熱交換が促進されて気体Gの温

度変化を抑制する点から効果的である。

[0029] (第5実施形態)

続いて気体バネ装置の別形態について図4を参照して説明する。

この図において、図1に示した第1実施形態の構成要素と同一の要素については同一符号を付し、その説明を省略する。

本実施の形態では、気体バネ装置における有効受圧面積をストローク変位に応じて変化させることにより動バネ定数を低下させる。

[0030] 以下、詳細に説明する。

図4に示す気体バネ装置KB4においては、ピストンPTが上方へ向かうに従って漸次縮径するテーパ状に形成されており、この傾斜面S1にダイヤフラムDPの一端側が結合されている。また、エア室ARのダイヤフラムDP(の他端側)との結合部は、上方へ向かうに従って漸次拡径する傾斜面S2となっている。

[0031] 上記の構成では、図5に示すように、ピストンPTが例えば上方に変位した場合、ダイヤフラムDPは傾斜面S1、S2に倣わされて外側に変位する(二点鎖線で示す)。すなわち、ピストンPTの有効径はD1からD2 ($D2 > D1$)に変化する。これにより、気体バネ装置としての有効受圧面積を $\pi D1^2/4$ から $\pi D2^2/4$ に大きくすることができる。

[0032] ここで、図4の気体バネ装置KB4において有効受圧面積が変化する場合のバネ定数Kは次式で表される。

$$\begin{aligned} K &= dW/dX \\ &= A \times (dP/dX) + P \times (dA/dX) \\ &= \gamma \times (P + P_a) \times A^2 / (V - V_s) + P \times (dA/dX) \quad \cdots (6) \end{aligned}$$

式(6)においては、有効受圧面積Aが大きくなるときに圧縮たわみXは小さくなるため、有効受圧面積の変化率(dA/dX)は負の値となる。

気体バネ装置KB4が静的に安定するための条件は静バネ定数 $K(K_s) > 0$ ($\gamma = 1, 0$)であるので、この条件を満足し、静バネ定数 K_s が最小となるように有効受圧面積の変化率を設定する。

このとき、動バネ定数 K_d も

$$K_d = \gamma \times (P + P_a) \times A^2 / (V - V_s) + P \times (dA / dX)$$

となり、上述したようにポリトロピック指数 $\gamma \approx 1.0$ であるため、 $K_s \approx K_d$ となる。

- [0033] 従って、本実施の形態では、有効受圧面積の変化率 (dA / dX) を調整して、静バネ定数 K_s を安定性が確保できる最小値に設定すると、動バネ定数 K_d もほぼ同じの極めて低い値に設定することが可能になる。

このため、気体バネ装置 KB4 としての固有振動数も極めて低い値となり、気体バネ装置の性能として重要な振動伝達率を飛躍的に向上 (低下) させることができる。

- [0034] (第6実施形態)

次に、上記の気体バネ装置を防振装置の一部として備えた露光装置の例について図6乃至図9を参照して説明する。

図6は本発明の気体バネ装置を有するステージ装置を基板ステージに適用した露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。ここで、本実施形態における露光装置 EX は、マスク M と感光基板 P とを同期移動しつつマスク M に設けられているパターンを投影光学系 PL を介して感光基板 P 上に転写する所謂スキャニングステップである。以下の説明において、投影光学系 PL の光軸 AX と一致する方向を第1方向としての Z 軸方向、Z 軸方向に垂直な平面内における前記同期移動方向 (走査方向) を Y 軸方向、Z 軸方向及び Y 軸方向と垂直な方向 (非走査方向) を X 軸方向として説明する。また、ここでいう「感光基板」は半導体ウエハ上にレジストが塗布されたものを含み、「マスク」は感光基板上に縮小投影されるデバイスパターンが形成されたレチクルを含む。

- [0035] 図6において、露光装置 EX は、不図示の光源から射出された露光光 EL によりマスク (レチクル) M 上の矩形状 (あるいは円弧状) の照明領域を照明する照明光学系 IL と、マスク (レチクル) M を保持して移動するマスクステージ (レチクルステージ) MST 及びこのマスクステージ MST を支持するマスク定盤 3 を有するステージ装置 1 と、マスク (レチクル) M を透過した露光光 EL を感光基板 P 上に投影する投影光学系 PL と、感光基板 P を保持して移動する基板ステージ PST 及びこの基板ステージ PST を支持する基板定盤 4 を有する本発明に係るステージ装置 2 と、照明光学系 IL、ステージ装置 1 及び投影光学系 PL を支持するリアクションフレーム 5 と、露光装置 EX の動作

を統括制御する制御装置CONTとを備えている。

- [0036] リアクションフレーム5は床面に水平に載置されたベースプレート6上に設置されており、このリアクションフレーム5の上部側及び下部側には内側に向けて突出する段部5a及び5bがそれぞれ形成されている。

なお、投影光学系PLは、フランジ部10を介して鏡筒定盤12に固定されており、段部5bは防振ユニット11を介して鏡筒定盤12を支持している。

- [0037] フランジ部10には、Z干渉計45aが設けられており、図6に示してあるように、このZ干渉計45aと対向するように基板ステージPSTの上面にコーナーキューブ85が設けられている。Z干渉計45aは、コーナーキューブ85からの反射光を受光することで投影光学系PLとは分離している基板ステージPSTとのZ方向の位置情報を検出する。制御装置CONTは、Z干渉計45aの検出結果と、感光基板Pと投影光学系PLとのZ方向の位置及び姿勢を検出する不図示のフォーカスセンサの出力とに基づいて基板ホルダPHの姿勢を制御する。

また、鏡筒定盤12の下面にも複数のZ干渉計45bが設けられている。このZ干渉計45bの詳細については後述する。

- [0038] ステージ装置2は、可動体としての基板ステージPSTと、基板ステージPSTをXY平面に沿った2次元方向に移動可能に支持する基板定盤4と、基板ステージPSTをX軸方向に案内しつつ移動自在に支持するXガイドステージ35と、Xガイドステージ35に設けられ、基板ステージPSTをX軸方向に移動可能なXリニアモータ40と、Xガイドステージ35をY軸方向に移動可能な一対のYリニアモータ30とを有している。

- [0039] 基板ステージPSTはウェハ等の感光基板Pを真空吸着保持する基板ホルダPHを有しており、感光基板Pは基板ホルダPHを介して基板ステージPSTに支持される。また、基板ステージPSTの底面には非接触ベアリングである複数のエアベアリング37が設けられており、これらエアベアリング37により基板ステージPSTは基板定盤4に対して非接触で支持されている。また、基板定盤4はベースプレート6の上方に本発明の防振装置である防振ユニット13を介してほぼ水平に支持されている。

- [0040] Xガイドステージ35の+X側には、Xトリムモータ34の可動子34aが取り付けられている(図7参照)。また、Xトリムモータ34の固定子(不図示)はリアクションフレーム5に

設けられている。このため、基板ステージPSTをX軸方向に駆動する際の反力は、Xトリムモータ34及びリアクションフレーム5を介してベースプレート6に伝達される。

[0041] 図7は基板ステージPSTを有するステージ装置2の概略斜視図である。

図7に示すように、ステージ装置2は、X軸方向に沿った長尺形状を有するXガイドステージ35と、Xガイドステージ35で案内しつつ基板ステージPSTをX軸方向に所定ストロークで移動可能なXリニアモータ40と、Xガイドステージ35の長手方向両端に設けられ、このXガイドステージ35を基板ステージPSTとともにY軸方向に移動可能な一対のYリニアモータ30とを備えている。

[0042] Yリニアモータ30のそれぞれは、Xガイドステージ35の長手方向両端に設けられた磁石ユニットからなる移動体としての可動子32と、この可動子32に対応して設けられコイルユニットからなる固定子31とを備えている。ここで、固定子31はベースプレート6に突設された支持部36(図6参照)に設けられている。なお、図6では固定子31及び可動子32は簡略化して図示されている。これら固定子31及び可動子32によりムービングマグネット型のリニアモータ30が構成されており、可動子32が固定子31との間の電磁氣的相互作用により駆動することでXガイドステージ35がY軸方向に移動する。また、一対のYリニアモータ30のそれぞれの駆動を調整することでXガイドステージ35は θ Z方向にも回転移動可能となっている。したがって、このYリニアモータ30により基板ステージPSTがXガイドステージ35とほぼ一体的にY軸方向及び θ Z方向に移動可能となっている。

[0043] Xリニアモータ40は、Xガイドステージ35にX軸方向に延びるように設けられたコイルユニットからなる固定子41と、この固定子41に対応して設けられ、基板ステージPSTに固定された磁石ユニットからなる可動子42とを備えている。これら固定子41及び可動子42によりムービングマグネット型のリニアモータ40が構成されており、可動子42が固定子41との間の電磁氣的相互作用により駆動することで基板ステージPSTがX軸方向に移動する。ここで、基板ステージPSTはXガイドステージ35に対してZ軸方向に所定量のギャップを維持する磁石及びアクチュエータからなる磁気ガイドにより非接触で支持されている。基板ステージPSTはXガイドステージ35に非接触支持された状態でXリニアモータ40によりX軸方向に移動する。なお、磁気ガイドに代

えてエアガイドを用いて非接触支持してもよい。

- [0044] 図8に示すように、防振ユニット13は、基板定盤4の端部から水平方向に延出するブラケット部74とベースプレート6との間に、Z軸方向に沿って直列に配設されたエアマウント(支持装置)72とボイスコイルモータ(駆動装置)73とから構成されている。なお、図6では、防止ユニット13を簡略化して図示している。
- [0045] エアマウント72は、所定圧力のエア(気体)が充填され、このエア(の圧力)により防振対象物としての基板定盤4をZ軸方向に沿って支持するものであって、ベースプレート6上に載置されたエア室AR、基板定盤4のブラケット部74に垂設された架台4aを介してブラケット部74(基板定盤4)をZ方向に沿って支持するピストンPT、エア室ARを覆い、且つピストンPTをZ方向に移動自在に支持するダイヤフラムDP、制御装置CONTの制御下でエア室内のエア供給量を制御してエア圧を調整するエア圧調整装置ACから構成されている。本実施の形態におけるエアマウント72としては、図1に示した気体バネ装置KB1が用いられており、エア室ARの内部にはスチールウールSWが充填されている。
- [0046] ボイスコイルモータ73は、電磁力によりZ軸方向に沿って基板定盤4(ブラケット部74)を駆動するものであって、ベースプレート6上にエア室ARを跨ぐように設けられた固定子65と、ブラケット部74に当接して設けられ固定子65に対してZ軸方向に駆動される可動子66とから構成されている。
- [0047] また、基板定盤4のブラケット部74には、前述のZ干渉計45bと対向してこのZ干渉計45bから照射された検知光を反射するコーナーキューブ75が設置されている。Z干渉計45bは、コーナーキューブ75からの反射光を受光することで、Z軸方向に沿って基板定盤4表面の(Z軸方向の)位置情報を計測する。これらZ干渉計45b及びコーナーキューブ75により計測装置76が構成される。
- [0048] 図7に示すように、上記のブラケット部74、コーナーキューブ75及び防振ユニット13は、基板定盤4の-Y側のX軸方向略中央と、基板定盤4の+Y側のX軸方向両端側の3ヶ所にそれぞれで組をなして配置されている(ただし、図7では防振ユニット13は不図示)。各位置で計測された基板定盤4のZ方向に関する位置情報は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTは、得られた基板定盤4のZ方向に関する位

置情報に基づいて平面を計算し、この計算結果に基づいて防振ユニット13(エアマウント72及びボイスコイルモータ73)の駆動を制御する。また、基板定盤4には、当該基板定盤4とベースプレート6との間の距離を検出する検出装置78(図6参照)が各防振ユニット13の近傍に設けられている。検出装置78の検出結果は制御装置CONTに出力される。

- [0049] 図6に戻って、基板ステージPSTの-X側の側縁にはY軸方向に沿って延設されたX移動鏡51が設けられ、X移動鏡51に対向する位置にはレーザ干渉計50が設けられている。レーザ干渉計50はX移動鏡51の反射面と投影光学系PLの鏡筒下端に設けられた参照鏡52とのそれぞれに向けてレーザ光(検出光)を照射するとともに、その反射光と入射光との干渉に基づいてX移動鏡51と参照鏡52との相対変位を計測することにより、基板ステージPST、ひいては感光基板PのX軸方向における位置を所定の分解能でリアルタイムに検出する。同様に、基板ステージPST上の+Y側の側縁にはX軸方向に沿って延設されたY移動鏡53(図6には不図示、図7参照)が設けられ、Y移動鏡53に対向する位置にはYレーザ干渉計(不図示)が設けられており、Yレーザ干渉計はY移動鏡53の反射面と投影光学系PLの鏡筒下端に設けられた参照鏡(不図示)とのそれぞれに向けてレーザ光を照射するとともに、その反射光と入射光との干渉に基づいてY移動鏡と参照鏡との相対変位を計測することにより、基板ステージPST、ひいては感光基板PのY軸方向における位置を所定の分解能でリアルタイムに検出する。レーザ干渉計の検出結果は制御装置CONTに出力され、制御装置CONTはレーザ干渉計の検出結果に基づいてリニアモータ30、40を介して基板ステージPSTの位置制御(及び速度制御)を行う。

- [0050] 照明光学系ILは、所定の位置関係で配置されたミラー、可変減光器、ビーム成形光学系、オブティカルインテグレータ、集光光学系、振動ミラー、照明系開口絞り板、ビームスプリッタ、リレーレンズ系、及びブラインド機構(設定装置)等を備えており、リアクションフレーム5の上面に固定された支持コラム7により支持される。ブラインド機構は、レチクルR上の照明領域を規定する所定形状の開口部が形成された固定ブラインドと、不要な部分の露光を防止するため、走査露光の開始時及び終了時に可動ブレードにより固定レチクルブラインドによって規定されるマスクM上の照明領域を更

に制限する可動ブラインドとから構成される。

照明光学系ILより射出される露光光ELとしては、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線(g線、h線、i線)及びKrFエキシマレーザ光(波長248nm)等の遠紫外光(DUV光)や、ArFエキシマレーザ光(波長193nm)及びF₂レーザ光(波長157nm)等の真空紫外光(VUV光)などが用いられる。

[0051] 次に、ステージ装置1のうちマスク定盤3は各コーナーにおいてリアクションフレーム5の段部5aに防振ユニット8を介してほぼ水平に支持されており、その中央部にマスクMのパターン像が通過する開口3aを備えている。防振ユニット8は、防振ユニット13と同様の構成を有しているが、ここでは詳述を省略する。

マスクステージMSTはマスク定盤3上に設けられており、その中央部にマスク定盤3の開口3aと連通しマスクMのパターン像が通過する開口Kを備えている。マスクステージMSTの底面には非接触ベアリングである複数のエアベアリング9が設けられており、マスクステージMSTはエアベアリング9によりマスク定盤3に対して所定のクリアランスを介して浮上支持されている。

[0052] 図9はマスクステージMSTを有するステージ装置1の概略斜視図である。

図9に示すように、ステージ装置1(マスクステージMST)は、マスク定盤3上に設けられたマスク粗動ステージ16と、マスク粗動ステージ16上に設けられたマスク微動ステージ18と、マスク定盤3上において粗動ステージ16をY軸方向に所定ストロークで移動可能な一対のYリニアモータ20、20と、マスク定盤3の中央部の上部突出部3bの上面に設けられ、Y軸方向に移動する粗動ステージ16を案内する一対のYガイド部24、24と、粗動ステージ16上において微動ステージ18をX軸、Y軸、及びθZ方向に微小移動可能な一対のXボイスコイルモータ17X及び一対のYボイスコイルモータ17Yとを備えている。なお、図6では、粗動ステージ16及び微動ステージ18を簡略化して1つのステージとして図示している。

[0053] Yリニアモータ20のそれぞれは、マスク定盤3上においてY軸方向に延びるように設けられたコイルユニット(電機子ユニット)からなる一対の固定子21と、この固定子21に対応して設けられ、連結部材23を介して粗動ステージ16に固定された磁石ユニットからなる可動子22とを備えている。そして、これら固定子21及び可動子22により

ムービングマグネット型のリニアモータ20が構成されており、可動子22が固定子21との間の電磁氣的相互作用により駆動することで粗動ステージ16(マスクステージMST)がY軸方向に移動する。固定子21のそれぞれは非接触ベアリングである複数のエアベアリング19によりマスク定盤3に対して浮上支持されている。このため、運動量保存の法則により粗動ステージ16の+Y方向の移動に応じて固定子21が-Y方向に移動する。この固定子21の移動により粗動ステージ16の移動に伴う反力が相殺されるとともに重心位置の変化を防ぐことができる。なお、固定子21は、マスク定盤3に変えてリアクションフレーム5に設けられてもよい。固定子21をリアクションフレーム5に設ける場合にはエアベアリング19を省略し、固定子21をリアクションフレーム5に固定して粗動ステージ16の移動により固定子21に作用する反力をリアクションフレーム5を介して床に逃がしてもよい。

[0054] Yガイド部24のそれぞれは、Y軸方向に移動する粗動ステージ16を案内するものであって、マスク定盤3の中央部に形成された上部突出部3bの上面においてY軸方向に延びるように固定されている。また、粗動ステージ16とYガイド部24、24との間には非接触ベアリングである不図示のエアベアリングが設けられており、粗動ステージ16はYガイド部24に対して非接触で支持されている。

[0055] 微動ステージ18は不図示のバキュームチャックを介してマスクMを吸着保持する。微動ステージ18の+Y方向の端部にはコーナーキューブからなる一対のY移動鏡25a、25bが固定され、微動ステージ18の-X方向の端部にはY軸方向に延びる平面ミラーからなるX移動鏡15が固定されている。そして、これら移動鏡25a、25b、15に対して測長ビームを照射する3つのレーザ干渉計(いずれも不図示)が各移動鏡との距離を計測することにより、マスクステージMSTのX軸、Y軸、及び θ Z方向の位置が高精度で検出される。制御装置CONTはこれらレーザ干渉計の検出結果に基づいて、Yリニアモータ20、Xボイスコイルモータ17X、及びYボイスコイルモータ17Yを含む各モータを駆動し、微動ステージ18に支持されているマスクM(マスクステージMST)の位置制御(及び/または速度制御)を行う。

[0056] 図6に戻って、開口K及び開口3aを通過したマスクMのパターン像は投影光学系PLに入射する。投影光学系PLは複数の光学素子により構成され、これら光学素子は

鏡筒で支持されている。投影光学系PLは、例えば1/4又は1/5の投影倍率を有する縮小系である。なお、投影光学系PLとしては等倍系あるいは拡大系のいずれでもよい。

鏡筒定盤12の下面には、上述したコーナーキューブ75と対向する位置に3つのレーザ干渉計45bが、基板定盤4とのZ方向の相対位置を検出するための検出装置として固定されている(ただし、図6においてはこれらのレーザ干渉計のうち2つが代表的に示されている)。このため、上記3つのレーザ干渉計45bによって基板定盤4の異なる3点のZ位置が鏡筒定盤12を基準としてそれぞれ計測される。

[0057] そして、投影光学系PLは、リアクションフレーム5の段部5bに防振ユニット11を介してほぼ水平に支持された鏡筒定盤12にフランジ部10に係合している。防振ユニット11は、防振ユニット13と同様の構成を有し直列配置されたエアマウント26とボイスコイルモータ27とから構成されている。

[0058] 続いて上記の構成の露光装置EXの中、ステージ装置2の動作について以下に説明する。基板ステージPSTをY方向に移動させる際には、Yリニアモータ30の可動子32が固定子31に沿って移動し、また基板ステージPSTをX方向に移動させる際にはXリニアモータ40の可動子42が固定子41(Xガイドステージ35)に沿って移動する。

このとき、制御装置CONTは、基板ステージの移動に伴う重心の変化による影響をキャンセルするためのカウンターフォースを防振ユニット13に対してフィードフォワードで与え、この力を発生するようにエアマウント72およびボイスコイルモータ73を駆動する。また、基板ステージPSTと基板定盤4との摩擦が零でない等の理由で、基板定盤4の6自由度方向の微少な振動が残留した場合にも、上記残留振動を除去すべく、エアマウント72およびボイスコイルモータ73をフィードバック制御する。

[0059] 具体的には、防振ユニット13の負担すべき重量が増えたときには、エアマウント72において、エア圧調整装置ACにより所定圧力(例えば10kPa)のエアがエア室ARの内部空間に充填され、ピストンPT及び架台4aを介して基板定盤4のブラケット部74を支持する際の支持力を増すことができる。

[0060] また、エアマウント72の支持力で不足する重量増加についてはボイスコイルモータ

73を駆動して基板定盤4のブラケット部74に推力を付与することで、不足する支持力を負担することになる。このとき、制御装置CONTは、Z干渉計45bにより3ヶ所で計測された基板定盤4表面のZ方向の位置で設定される平面を計算し、得られた平面に基づいてエアマウント72及びボイスコイルモータ73の駆動を制御する。

さらに、基板定盤4の残留振動に関しては、振動センサ群の検出結果に基づいて、重心変化時と同様にエアマウント72及びボイスコイルモータ73を駆動することで残留振動をアクティブに制振し、基板定盤4に伝わる微振動をマイクロG(Gは重力加速度)レベルで絶縁する。そして、防振ユニット13の負担すべき重量が減り、エアマウント72内の圧力を減圧する際には、エア圧調整装置ACにより内部空間からエアを排出すればよい。このように、基板定盤4の変形を正確に計測し、この変形に応じた推力でエアマウント72及びボイスコイルモータ73を駆動することで基板定盤4(すなわち感光基板P)のZ方向の位置及び姿勢が所定の状態に維持される。

[0061] 続いて、上記の構成の露光装置EXにおける露光動作について説明する。

不図示のレチクル顕微鏡および不図示のオフアクシス・アライメントセンサ等を用いたレチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業が行われ、その後アライメントセンサを用いた感光基板Pのファインアライメント(EGA;エンハンスド・グローバル・アライメント等)が終了し、感光基板P上の複数のショット領域の配列座標が求められる。そして、アライメント結果に基づいてレーザ干渉計50の計測値をモニタしつつ、リニアモータ30、40を制御して感光基板Pの第1ショットの露光のための走査開始位置に基板ステージPSTを移動する。そして、リニアモータ20、30を介してマスクステージMSTと基板ステージPSTとのY方向の走査を開始し、両ステージMST、PSTがそれぞれの目標走査速度に達すると、ブラインド機構の駆動により設定された露光用照明光によってマスクMのパターン領域が照明され、走査露光が開始される。

[0062] この走査露光時には、マスクステージMSTのY方向の移動速度と、基板ステージPSTのY方向の移動速度とが投影光学系PLの投影倍率($1/5$ 倍あるいは $1/4$ 倍)に応じた速度比に維持されるように、リニアモータ20、30を介してマスクステージMSTおよび基板ステージPSTを同期制御する。基板ステージPSTの移動に伴って基板定盤4に変形が生じる場合には、上述したように、防振ユニット13を制御して定盤4の

変形を補正することで、感光基板Pの表面位置を投影光学系PLの焦点位置に位置決めすることができる。

- [0063] また、鏡筒定盤12の残留振動に関しては、ステージ移動に伴う重心変化時と同様にエアマウント26及びボイスコイルモータ27を駆動することで残留振動をアクティブに制振し、下部支持フレーム5dを介して鏡筒定盤25(投影光学系PL)に伝わる微振動をマイクロG(Gは重力加速度)レベルで絶縁する。

そして、マスクMのパターン領域の異なる領域が照明光で逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、感光基板P上の第1ショットの走査露光が完了する。これにより、マスクMのパターンが投影光学系PLを介して感光基板P上の第1ショット領域に縮小転写される。

- [0064] このように本実施の形態では、エアマウント72の駆動の際にエア室ARの内容積変化に伴う温度変化はスチールウールSWと直ちに熱の授受が行われることにより抑えられるため、温度変化(熱)に起因する圧力変化を抑えることができる。従って、エアマウント72におけるポルトロピック指数が小さくなりバネ定数が低下することで、振動伝達率を向上させることができる。その結果、基板定盤4に生じる振動を効果的に制振することが可能となり、パターン転写精度を向上させることができる。

- [0065] 以上、添付図面を参照しながら本発明に係る好適な実施形態について説明したが、本発明は係る例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

- [0066] 例えば、図6及び図8では、図1に示した第1実施形態で説明した気体バネ装置KB1を用いる構成としたが、これに限定されるものではなく、第2実施形態乃至第5実施形態で説明した気体バネ装置を用いる構成としてもよい。また、第1実施形態から第5実施形態で説明した気体バネ装置を適宜組み合わせて用いてもよい。

また、上記実施の形態では、本発明のステージ装置を基板ステージ側に適用する構成としたが、これに限られず、マスクステージに対しても適用することも可能である。さらに、上記実施形態に係る気体バネ装置を、鏡筒定盤12を支持するエアマウント2

6に適用する構成としてもよい。

- [0067] なお、上記各実施形態の基板Pとしては、半導体デバイス製造用の半導体ウエハのみならず、ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版(合成石英、シリコンウエハ)等が適用される。
- [0068] 露光装置EXとしては、マスクMと基板Pとを同期移動してマスクMのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置(スキャニングステッパ)の他に、マスクMと基板Pとを静止した状態でマスクMのパターンを一括露光し、基板Pを順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置(ステッパ)にも適用することができる。また、本発明は基板P上で少なくとも2つのパターンを部分的に重ねて転写するステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置にも適用できる。
- [0069] また、本発明は、特開平10-163099号公報、特開平10-214783号公報、特表2000-505958号公報などに開示されているツインステージ型の露光装置にも適用できる。
- [0070] 露光装置EXの種類としては、基板Pに半導体素子パターンを露光する半導体素子製造用の露光装置に限られず、液晶表示素子製造用又はディスプレイ製造用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子(CCD)あるいはレチクル又はマスクなどを製造するための露光装置などにも広く適用できる。
- [0071] 基板ステージPSTやマスクステージMSTにリニアモータ(USP5,623,853またはUSP5,528,118参照)を用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージPST、MSTは、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。
- [0072] 各ステージPST、MSTの駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニットと、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージPST、MSTを駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージPST、MSTに接続し、磁石ユニットと電機子ユ

ニットとの他方をステージPST、MSTの移動面側に設ければよい。

- [0073] 基板ステージPSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、特開平8-166475号公報(USP 5,528,118)に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がしてもよい。

マスクステージMSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、特開平8-330224号公報(USP 5,874,820)に記載されているように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がしてもよい。また、特開平8-63231号公報(USP 6,255,796)に記載されているように運動量保存則を用いて反力を処理してもよい。

- [0074] 本願実施形態の露光装置EXは、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

- [0075] 半導体デバイス等のマイクロデバイスは、図10に示すように、マイクロデバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク(レチクル)を製作するステップ202、デバイスの基材であるウエハを製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置EXによりマスクのパターンをウエハに露光するウエハ処理ステップ204、デバイス組み立てステップ(ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む)205、検査ステップ206等を経て製造される。

請求の範囲

- [1] 所定圧力の気体が充填される気体室を有する気体バネ装置であって、
前記気体室に設けられ、前記気体室の容積変化に伴う温度変化を調整する調整装置を備えることを特徴とする気体バネ装置。
- [2] 請求項1記載の気体バネ装置において、
前記調整装置は、前記気体よりも比熱または熱伝達率の大きい固体または液体であることを特徴とする気体バネ装置。
- [3] 請求項1または2記載の気体バネ装置において、
前記調整装置が繊維状スチールであることを特徴とする気体バネ装置。
- [4] 請求項1から3のいずれか1項記載の気体バネ装置において、
前記調整装置は、動バネ定数におけるポルトロピック指数を空気のポルトロピック指数よりも小さくすることを特徴とする気体バネ装置。
- [5] 請求項1または4記載の気体バネ装置において、
前記調整装置は、前記気体室に飽和蒸気と液体との気液混相状態で充填されたガスを有することを特徴とする気体バネ装置。
- [6] 請求項1から5のいずれか1項記載の気体バネ装置において、
前記調整装置は、前記気体室の容積変化を略等温変化にすることを特徴とする気体バネ装置。
- [7] 請求項1から6のいずれか1項記載の気体バネ装置において、
前記気体室の気体を攪拌する攪拌装置を有することを特徴とする気体バネ装置。
- [8] 所定圧力の気体により防振対象物を支持する支持装置と、前記防振対象物を駆動する駆動装置とを備えた防振装置であって、
前記支持装置として請求項1から7のいずれか1項記載の気体バネ装置が用いられることを特徴とする防振装置。
- [9] 定盤上を可動体が移動するステージ装置であって、
前記定盤が請求項8記載の防振装置により支持されることを特徴とするステージ装置。
- [10] マスクステージに保持されたマスクのパターンを基板ステージに保持された感光基

板に投影光学系を介して露光する露光装置において、

前記マスクステージと、前記投影光学系と、前記基板ステージとの少なくとも一つが、請求項8記載の防振装置により支持されることを特徴とする露光装置。

[11] 防振方法であって、

所定圧力の気体を気体室に充填し、

前記気体室の容積変化に伴う温度変化を調整することを特徴とする防振方法。

[12] 請求項11記載の防振方法であって、

前記気体よりも比熱または熱伝達率の大きい固体または液体を前記気体室に充填することを特徴とする防振方法。

[13] 請求項11または12記載の防振方法であって、

繊維状スチールを前記気体室に充填することを特徴とする防振方法。

[14] 請求項11から13のいずれか1項記載の防振方法であって、

動バネ定数におけるポリトロピック指数を空気のポリトロピック指数よりも小さくすることを特徴とする防振方法。

[15] 請求項11または14記載の防振方法であって、

飽和蒸気と液体との気液混相状態のガスを前記気体室に充填することを特徴とする防振方法。

[16] 請求項11から15のいずれか1項記載の防振方法であって、

前記気体室の容積変化を略等温変化とすることを特徴とする防振方法。

[17] 請求項11から16のいずれか1項記載の防振方法であって、

前記気体室の気体を攪拌することを特徴とする防振方法。